第39卷 第2期
2022年3月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 39 No. 2
Mar. 2022

不同时间尺度下新疆气候"暖湿化"特征

姚俊强[1]， 李漠岩[2]， 迪丽努尔·托列吾别克[1]， 陈 静[1]， 毛炜峄[1]

（1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所，中国气象局树木年轮理化研究重点实验室，新疆树木年轮生态实验室，新疆 乌鲁木齐 830002；2. 新疆大学资源与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830046）

摘 要：21世纪初有研究提出我国西北尤其是新疆气候出现"暖湿化"的论断，但针对不同时间尺度下新疆气候"暖湿化"特征还缺乏明确结论。基于新疆区域观测的气候水文资料，结合近年来发表的新成果，对中国新疆区域历史时期至年代际尺度"暖湿化"特征进行了全面梳理和对比分析，综合评估了新疆气候"暖湿化"在不同时间尺度下的演变特征。结果表明：(1)过去千年和百年新疆气候主要呈"暖干-冷湿"的水热配置特征，近百年存在显著的年代际变化特征，其中20世纪80年代以来经历了明显的"暖湿化"过程，但变幅未超出历史各时段的变率范围；(2) 1961年以来北半球中高纬度地区气候总体呈"暖湿化"特征，其中新疆及以北西伯利亚地区、欧洲北部等均有明显的"暖湿化"特征，新疆连接着发生"暖湿化"的高纬度地区和青藏高原地区，说明气候"暖湿化"并不是新疆所独有的，但新疆气候增湿过程在同中纬度地区具有独特性；(3) 1961—2019年新疆气候年际温湿以"暖湿-暖干"配置为主，20世纪90年代之后新疆年及季节多呈暖湿配置；增暖增湿速率在逐气候态时段增强，但在当前时段有减缓趋势，说明增温增湿趋势有阶段性特征，并呈非线性增加态势。虽然近30 a以来新疆气候"暖湿化"趋势明显，变暖程度逐渐增强，蒸发需求旺盛，但降水增加绝对量并不大，当前的增湿特征并不能改变新疆的干旱气候环境。研究成果为不同空间尺度下新疆气候和"暖湿化"评估提供重要的科学基础。

关键词：干湿变化；暖湿化；温湿配置；多时间尺度；新疆

目前，全球正在经历着一次以持续变暖为主要特征的气候变化，但变暖在全球各地的局地响应存在差异[1]。全球变暖背景下，近几十年来我国西北地区尤其是新疆正在经历着一次暖干向暖湿的气候转型，被称为新疆气候"暖湿化"现象[2-3]，已成为学术界、政府部门和社会大众普遍关注的重要科学问题[4-6]。近年来，学界对新疆区域气候变化，尤其是降水增加和气候变湿趋势取得了一些新认识，但对其不同时间尺度下新疆气候是否经历了"暖湿化"存在较大分歧，对过去千年、百年和年代际新疆"暖湿化"的演变特征认识还不清晰。

新疆地处中纬度内陆区，远离海洋，是全球最大的非地带性干旱区(亚洲中部干旱区)的核心组成部分，毗邻青藏高原，"三山夹两盆"地形复杂，地貌独特，地表过程复杂，受西风、季风和高原大地形的共同影响，在北半球气候环境系统中占据着极为重要的地位，在全球干旱区中具有代表性[7-9]。同时，新疆区域位于"丝绸之路"枢纽地带，是"丝绸之路经济带"和"中巴经济走廊"的核心区和关键区，是我国西部大开发的主战场和我国重要生态环境屏障区，其气候变化的影响不仅事关"一带一路"建设的水资源、生态和环境安全问题，而且直接关乎国防安全、社会稳定和区域高质量发展大计[6,10-11]。因此，全面深入理解新疆区域气候变化及其影响问题是开展气候水文及生态环境研究的基础，对加强中国生态、水资源和社会安全和灾害风险防范等方面具有重要理论与现实意义。

新疆气候干燥，水资源短缺，生态环境脆弱，对全球气候变化响应异常敏感[12]。降水变化和干湿趋势是决定新疆区域社会兴衰稳定、经济发展和文明进程最为关键的自然因素。新疆气候主要受西风带环流的影响，气候变化呈现出与东部季风区不同的特征[4]。研究发现新疆区域全新世气候呈现早全新世干旱、中晚全新世相对湿润的变化特征，存

收稿日期：2021-09-27； **修订日期**：2022-01-14
基金项目：国家自然基金项目(U1903113，42171038)；中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(IDM2021006)
作者简介：姚俊强(1987-)，男，研究员，主要从事干旱区气候变化与水循环研究. E-mail: yaojq@idm.cn
333－346页

在显著不同于东亚季风区的气候变化"西风模态"[4]。在温湿配置(或水热配置)关系来看,过去千年尺度新疆区域气候总体呈"暖干、冷湿"配置特征[13]。根据树木年轮代用资料重建的新疆过去300 a气候序列发现,新疆北部气候温湿配置主要以"冷干、暖湿"为主[6]。可以看出,不同时间尺度下气候温湿配置关系存在差异。在全球变暖背景下,全球陆地尤其是干旱区干湿变化也存在争议,已成为当今科学界讨论的热点问题,即全球变暖背景下干旱区变得更加干旱还是湿润? 一种观点认为"干者更干,湿者更湿"[14-15];而另一种观点认为"干湿互济",即干旱地区变湿[16];也有观点认为大部分地表区域无明显的干湿趋势[17]。过去百年以来,新疆区域大多时段呈"冷干、暖湿"配置,气温和降水变化的一致性较好[10]。事实上,气候温湿配置关系异常复杂,并不是简单的对应关系,不同时间尺度上温度与降水变化具有不同的响应关系,也存在明显的区域差异[18-19]。

21世纪初,综合河流径流量、湖泊水位、植被覆盖、降水变化等诸多自然要素变化,施雅风院士等[2-3]提出了西北干旱区气候"暖湿化"转型推断,其中新疆区域"暖湿化"更加明显。此外,大量数据和研究[6,10,12,20-21]表明,新疆降水自20世纪80年代以来存在一定程度的增加。但也存在区域差异,张强等[22]基于西北地区实测降水资料提出西北西部(新疆为主)与西北东部在降水趋势、年代际和年际表现出显著的跷跷板变化,新疆气候转为"暖湿化",而东部仍然为"暖干化",但在21世纪以来西北同时进入增湿期[10]。21世纪以来,新疆气候持续增温而降水微弱减少[9]。从增温引起的蒸发需求增加与降水增加的水分平衡角度,姚俊强等[6]提出了新疆气候"湿干转折"的观点,认为21世纪以来新疆大部分区域气候有转向暖干化的信号,但在新疆西北部、帕米尔高原等区域依然持续"暖湿化"。可以看出,受亚洲季风、西风带和高原系统影响,新疆干湿气候变化十分复杂,不仅存在不同时间尺度的演变过程,还存在明显的次区域差异特征,尤其是增湿过程和影响机制更加复杂,很多问题还需要更深入的科学探讨。

鉴于此,本文试图针对前期研究提出的新疆气候"暖湿化"问题,从多时间尺度角度,系统分析评估历史时期至年代际尺度下新疆气候"暖湿化"的演变特征,并考虑了2个主要问题:(1) 和北半球其他地区相比,气候"暖湿化"是否为新疆区域所独有的?(2) 新疆气候"暖湿化"是否存在不同时间尺度和空间格局上的差异?"暖湿化"是否持续增强? 本文利用过去近60 a的观测资料和最新文献梳理评估,试图回答上述问题。

1 数据来源

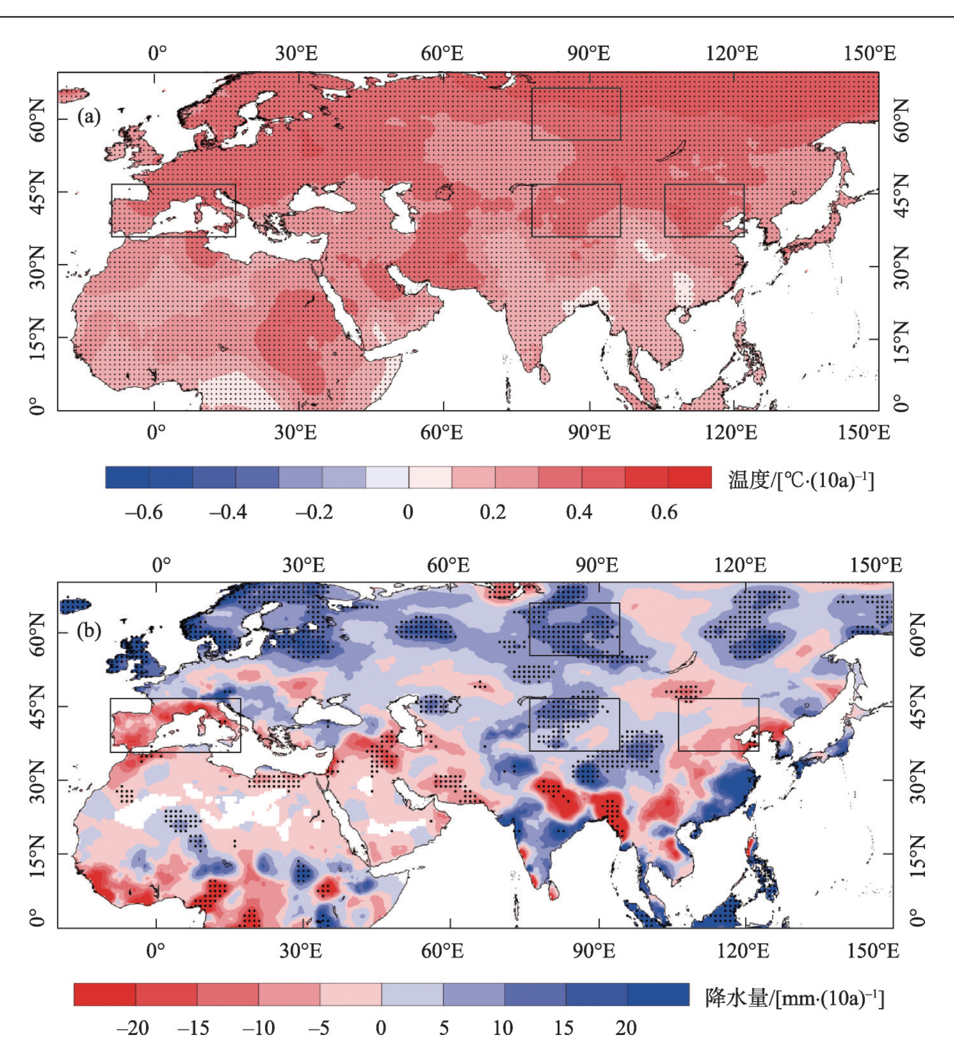
(1) 干湿指数:使用到的干湿指数包括自适应帕默尔干旱指数(sc_PDSI)和干燥度指数(AI)。sc_PDSI指数是最常用干湿代用指标,综合考虑了降水量、土壤含水量、径流和潜在蒸散量,其中全球sc_PDSI指数来自CRU网站(https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/drought/#global)[23];AI指数的计算公式为AI=(PET−PRE)/PET,其中PET为潜在蒸散量,PRE为降水量。潜在蒸散量可表征蒸发能力,其中已经包含了升温的因素。因此,sc_PDSI指数是在考虑温度对蒸散影响的基础上来表征气候干湿程度,可以用来表征区域"暖湿化"程度。以上数据来自英国东安哥拉大学气候研究中心(Climatic Research Unit, CRU)最新数据集(CRU TS v4.04),空间分辨率均为0.5°×0.5°。这套数据集除了在极低、海洋或高原等地区外,偏差比较小[24]。张强等[10]利用西北区域观测时间较长的代表站资料与CRU同期资料对比,发现二者具有很好的相关性,对区域气候变化趋势分析有较好可信度。

(2) 观测资料:选取新疆区域89站1961—2019年逐月气温和降水量资料。温度与降水资料已经过质量控制和均一化订正处理,并已在大量研究中被广泛使用[6]。

2 北半球其他典型区域与新疆地区干湿气候变化趋势对比

2.1 气温和降水量变化趋势对比

为了探讨气候"暖湿化"在北半球多大空间范围内存在,首先需要了解北半球气温和降水量变化趋势的空间分布。在全球变暖的背景下,1961—2019年北半球气候存在一致性的变暖趋势,其中35°N以北的中高纬度地区变暖更加明显,变暖趋势在0.3 ℃·$(10a)^{-1}$以上,且均通过了95%的显著性水平检验(图1a),说明包括新疆在内的北半球中高纬度地区变暖明显。



注:黑点代表变化趋势通过了0.05的显著性水平检验。

图1 基于CRU TS v4.04数据的1961—2019年北半球气温(a)和降水量(b)变化趋势

Fig. 1 Distributions of trends in annual mean temperature (a) and annual precipitation (b) over the Northern Hemisphere during 1961–2019 based on CRU TS v4.04

与气温的一致性变化相比,北半球降水量的变化存在明显的空间异质性。从1961—2019年北半球降水量变化趋势的空间分布来看,降水显著性增加的区域主要位于45°N以北的区域,包括欧洲北部和西伯利亚地区;而在45°N以南的中国新疆干旱区、青藏高原和里咸海地区,降水量也存在明显的增加趋势。与此相反,在地中海周边地区、欧洲中部、中西亚南部、蒙古高原和中国华北地区,表现为明显的降水减少趋势(图1b)。

为了更进一步分析气候"暖湿化"的异质性,选取与新疆区域(35°~50°N,75°~95°E)相同纬度或者相同经度的区域进行对比分析,其中对比区域包括在新疆以北的西伯利亚西部地区(55°~65°N,75°~95°E)、以西的地中海地区(35°~50°N,10°W ~15°E)和以东的中国华北地区(35°~50°N,105°~125°E)。发现新疆区域降水量在1961—2019年期间明显增加,趋势率为4.6 mm·$(10a)^{-1}$(P<0.01),与其同经度以北的西伯利亚西部地区降水量也明显增加,趋势率为10.4 mm·(10a)(P<0.01)(图2a、图2b),同经度以南相邻的青藏高原也明显增湿,反映了在新疆经向区域存在较大范围且一致的增湿过程,这个范围从青藏高原南缘向北延伸到北极地区。但是,在新疆同纬度的东西方向,尽管共同受西风环流的影响,但降水变化存在明显的区域差异特征。地中海地区和中国华北降水量均有不明显的减少趋势,变化率也基本相当,变化率为−4.6 mm·$(10a)^{-1}$,未通过95%的显著性水平检验(图2c、图2d)。说明在北半球中纬度地区,受西风环流影响的新疆区域降水变化明显区别于东亚季风气候区和地中海气候区,反映了新疆气候增湿过程的独特性。

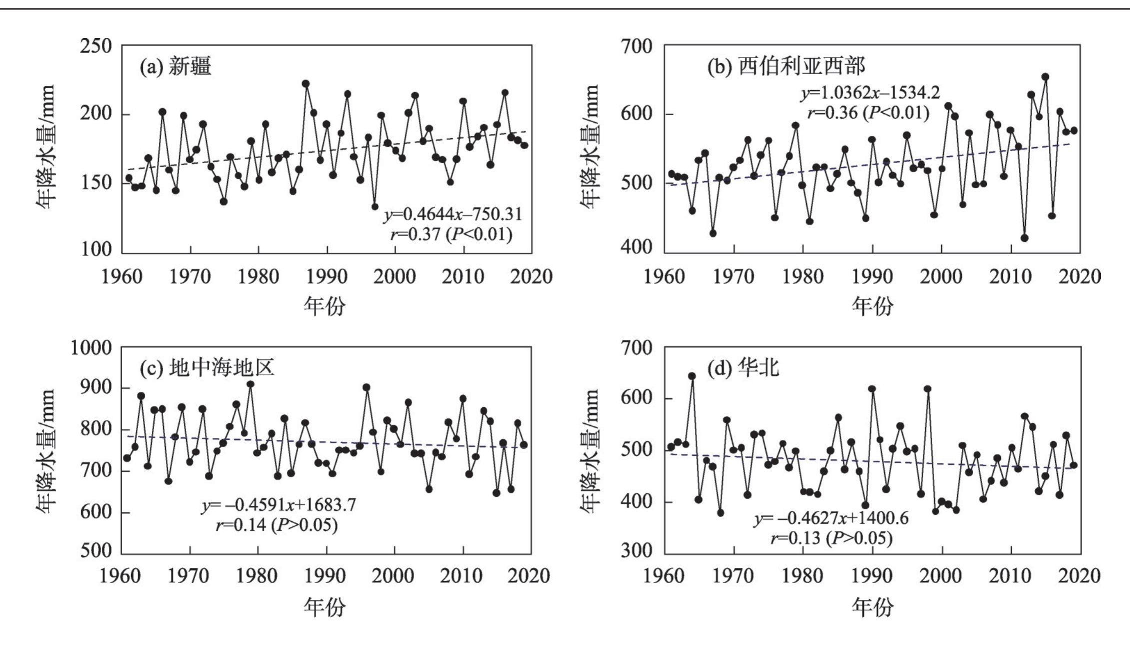


图2 北半球典型区域1961—2019年降水量变化趋势

Fig. 2 The time series of annual precipitation in typical regions in 1961–2019

综合北半球气温和降水量变化趋势的空间范围,以及典型区域的对比分析,发现1961—2019年北半球气候"暖湿化"和"暖干化"水热配置模式并存,其中高纬度地区以"暖湿"为主,而中低纬度地区"暖干"特征居多;"暖湿"气候水热配置区域主要位于欧洲北部、西伯利亚地区、中国新疆干旱区和青藏高原,以及中亚里咸海地区;而"暖干"气候水热配置区域主要位于地中海周边地区、西亚和中亚南部、蒙古高原主体和中国华北、华南地区。因此,从北半球视角看"暖湿化"问题,发现高纬度地区"暖湿化"呈带状分布,经向从西伯利亚西部、中国新疆和青藏高原形成"暖湿化"区域。因此,北半球气候"暖湿化"空间范围大致呈"T"字型,新疆连接着均发生"暖湿化"的高纬度地区和青藏高原地区,同时新疆"暖湿化"在中纬度地区具有独特性。

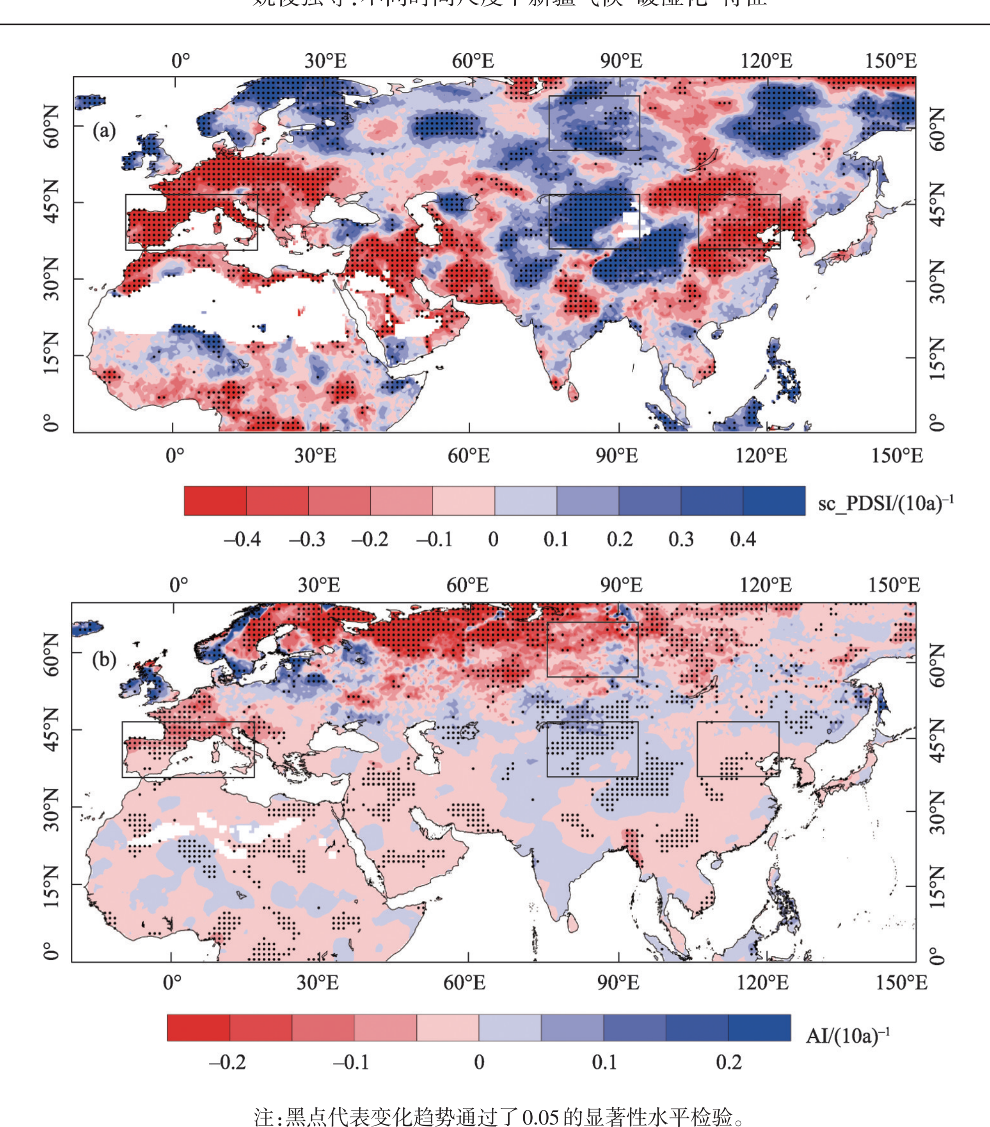
2.2 干湿气候变化趋势对比

以上从气温和降水要素变化的水热配置角度研究了北半球视角下的"暖湿化"空间范围特征。但是,区域的干湿变化受控于该区域的水分平衡状态,除了受气温和降水的影响外,还受土壤含水量、地表径流和潜在蒸散发等的影响。sc_PDSI指数综合考虑了水分蒸散、径流、土壤水分交换等水循环因素以及前期降水量和水分供求对后期的影响,物理意义明确,是一个良好的干湿代用指标[1]。

从基于sc_PDSI指数揭示干湿变化的角度来看,北半球干湿气候变化的空间异质性更加明显。50°N以北的高纬度地区以变湿为主,其中格陵兰岛、波罗的海沿岸地区、西伯利亚东部地区增湿显著;而在50°N以南以变干为主,显著变干的区域包括欧洲大部分、地中海周边地区、中亚和西亚大部分、印度半岛北部、蒙古高原主体、中国华北和西南地区(图3a)。但是,在中国新疆地区、青藏高原主体和帕米尔高原地区,以更加明显的增湿过程为主,与同纬度地带的变干形成显著差异,反映了该区域干湿变化的独特性。

典型区域比较发现,新疆区域是北半球增湿趋势最显著的区域之一,1961—2019年sc_PDSI指数变化趋势为0.29·$(10a)^{-1}$($P<0.01$),西伯利亚西部为0.21·$(10a)^{-1}$($P<0.01$)。与增湿相比,变干的速率更大更显著,如地中海周边地区变干速率为−0.41·$(10a)^{-1}$($P<0.01$),中国华北区域也达到0.36·$(10a)^{-1}$($P<0.01$)(图4)。值得注意的是,显著变干区域的速率是显著变湿区域的近2倍,反映了全球变暖背景下北半球暖干的趋势和风险在逐渐加剧,而增湿仅反映在个别独特区域和更高纬度的地区。同时,sc_PDSI指数反映的增湿区域空间范围与水热配置反映的"暖湿化"空间范围相似,也呈"T"字型分布,新疆连接着一致增湿的高纬度地区和青藏高原,但sc_PDSI指数揭示的增湿区域纬度更高。

此外,基于AI指数也给出了1961—2019年北



注:黑点代表变化趋势通过了0.05的显著性水平检验。

图3 基于sc_PDSI指数(a)和AI指数(b)的1961—2019年北半球干湿气候变化趋势

Fig. 3 Distributions of trends in annual sc_PDSI (a) and annual AI (b) over the Northern Hemisphere during 1961–2019 based on CRU TS v4.04

半球干湿变化趋势空间范围(图3b)。不同的是,AI指数反映了北半球总体以变干为主,只在欧洲北部、里咸海地区、中国新疆和青藏高原、以及西伯利亚东部地区有增湿特征,其中中国新疆是北半球增湿最为显著的区域之一。同时,AI指数也反映了高纬度地区的显著性变干特征,推测可能与北极增温引起的蒸发需求明显增加、而增加的降水量不足以抵消需求量有关。

3 新疆区域气候"暖湿化"特征

3.1 过去千年新疆气候"暖湿化"特征

基于典型湖泊沉积记录反映出过去千年新疆气候主要呈"暖干-冷湿"的水热配置特征[25]。新疆北部的吉力湖沉积记录显示,过去2000年气候呈"冷湿-暖干-冷干-暖干"的配置[26];而铁外克湖沉积记录显示,过去900 a气候呈"暖干-冷湿-暖干"的配置[27]。新疆博斯腾湖记录显示,近千年来在几百年尺度上气候也以"暖干-冷湿"的水热配置为主,其中小冰期(公元1500—1900年)有明显的"冷湿"气候,与近百年来气候变暖背景下出现的"暖干"气候相比更加湿润[28]。因此,过去千年沉积记录均反映了新疆"暖干-冷湿"的气候配置特征,并没有出现明显的"暖湿"气候阶段。此外,湖泊记录纪年的不确定性和较低的时间分辨率,导致了各个气候阶段的起讫时间存在差异[13]。

3.2 过去百年新疆气候"暖湿化"特征

树轮记录可以很好的反映过去百年区域气候

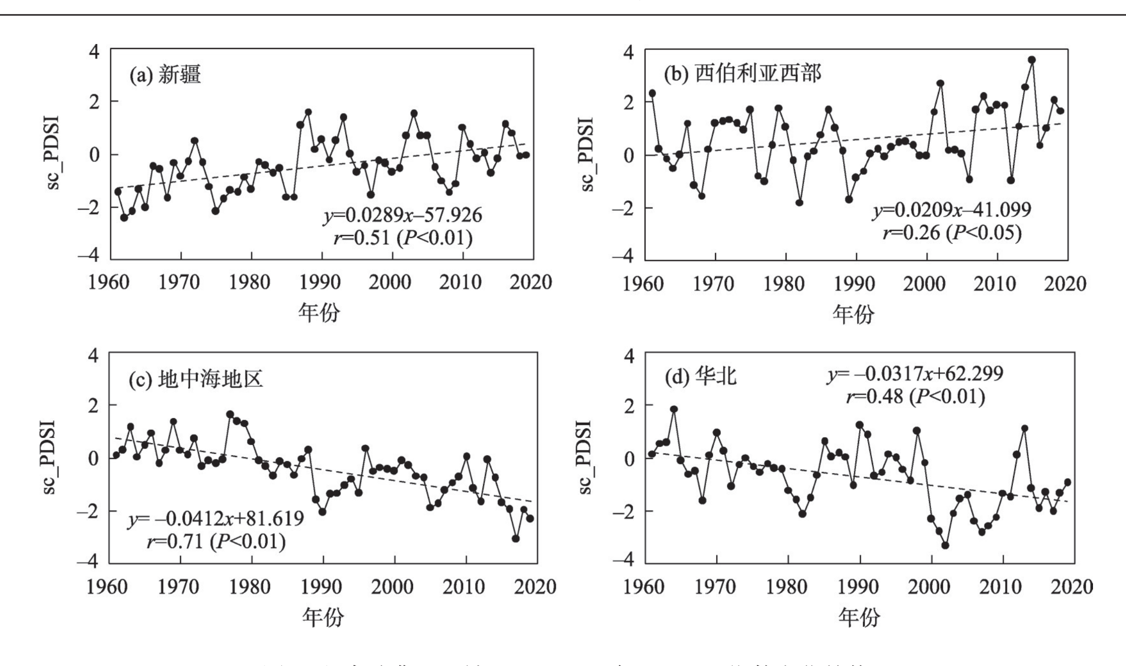


图4 北半球典型区域1961—2019年sc_PDSI指数变化趋势

Fig. 4 The time series of annual sc_PDSI in typical regions in 1961−2019

变化。新疆区域已获取的树轮记录主要分布在中部的天山和北部的阿尔泰山，包括年气温、降水量和PDSI等重建序列，但大多时间序列不足300 a，最长的可到500 a[29]。

天山山区重建降水量和干湿变化序列较多，虽然重建序列的变化趋势差异较大，但也存在干湿变化一致的阶段。对比发现：20世纪20年代是过去300 a最为干旱的时期，而20世纪70年代至今经历了快速的增湿过程[30]。基于大量的降水重建序列，发现天山山区235 a以来降水经历了“7干7湿”的变化阶段，干湿年份基本相当，而近百年以来降水有2个明显干湿变化阶段，其中20世纪初至80年代降水量逐渐减少，而80年代之后降水增加明显[31]。天山中西部降水和PDSI集合重建序列表明，过去300 a降水经历了6个干旱的阶段和5个湿润的阶段[30]。重建的天山中部过去550 a 4—5月PDSI序列揭示出明显的区域干湿变化阶段，其中1460—1540年和1720—1900年以偏湿为主，期间为一次长期的持续性偏干时期；近百年来以年代际尺度波动过程为主，其中20世纪20—30年代和60—70年代偏干，而70年代以来明显偏湿[32]。郑景云等[13]基于2条降水序列重建的1580—2008年新疆中北部干湿序列显示，近百年来干湿变化以年代际尺度为主，其中20世纪初、20—30年代、60年代、80—90年代偏湿，而10年代、40—50年代、70年代和21世纪初期偏干。

阿尔泰山地过去气候变化与天山存在差异。阿尔泰山3条降水重建序列分析发现，这些序列反映的干湿变化有非常好的一致性，其中1830—1860年降水变化平稳，1870—1990年持续干旱，而20世纪90年代末期开始降水有减少趋势[33-35]。结合多条气温、降水和干湿重建序列[36-40]综合分析发现，过去阿勒泰山年代际气候以“暖干”和“冷湿”水热配置为主，分别占到了40%和24%，而“冷干”和“暖湿”水热配置比例相当，均占到了18%。20世纪90年代以来，阿尔泰山气候以暖湿特征为主。综上，过去300 a，尤其是近百年来，新疆干湿以年代际尺度波动过程为主，气候依然以“暖干”和“冷湿”水热配置为主，20世纪70年代以来大多有一致性的增湿过程，但是变幅均未超出历史各时段的增湿变率范围。

3.3 新疆区域现代气候“暖湿化”特征

3.3.1 新疆区域现代气候温湿配置变化 为了明确新疆区域现代气候温湿配置关系，从图5给出的1961—2019年温度距平、降水量距平百分率及sc_PDSI指数的逐9 a滑动平均变化特征看出，过去59 a新疆区域气温和降水量在不同时间尺度上的变化大致一致，均经历了冷暖和干湿交替，20世纪60—90年代初气温偏低而降水偏少，90年代初期以来呈明显的增暖和增湿特征。比较来看，降水偏多的时期始于80年代中后期，较增暖时期有所提前；

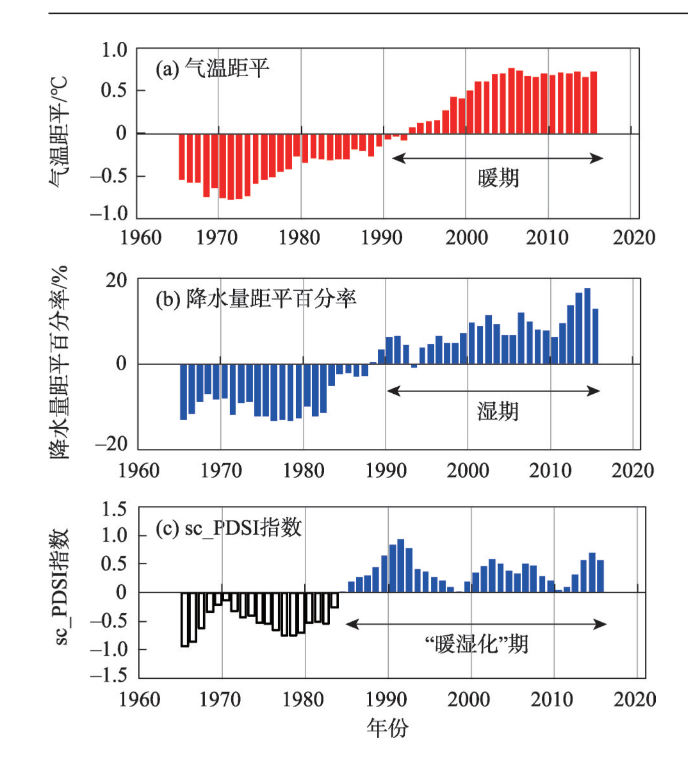
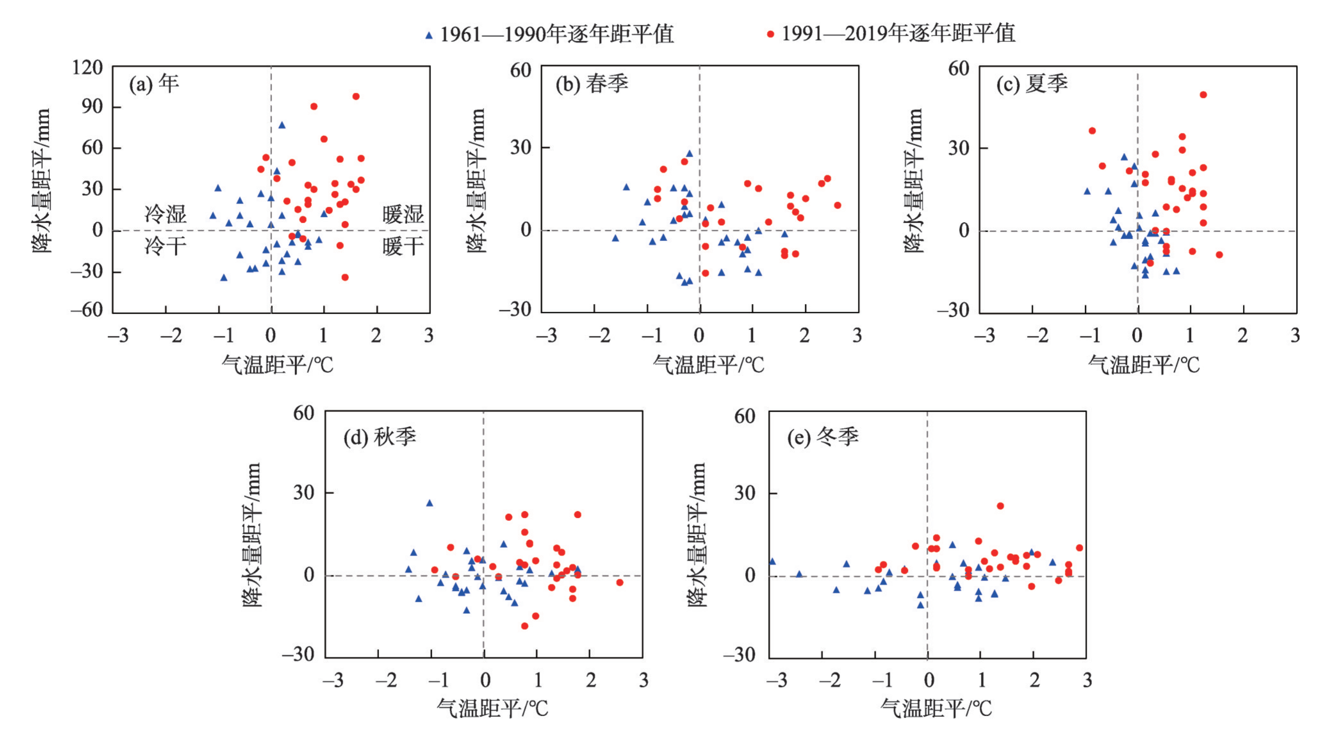


图5 1961—2019年新疆温度距平(a)、降水量距平百分率(b)和sc_PDSI指数(c)的逐9 a滑动平均变化

Fig. 5 9-year moving average of the annual mean temperature (a), annual precipitation (b) and annual sc_PDSI (c) and its anomaly percentage over Xinjiang during 1961-2019

21世纪以来增暖特征趋于减缓或停滞,但增湿特征逐渐增强。从sc_PDSI指数反映的干湿演变来看,干湿变化呈明显的阶段性转折特征,表现为80年代中期之前为偏干旱期,之后为偏湿润时期;在偏湿期,增湿特征也表现为阶段性的变化,反映了气温、降水及其他水文要素波动变化的综合影响。综合来看,在20世纪90年代前后新疆气候经历了“冷干”和“暖湿”配置的转折,90年代之后气候有明显的“暖湿化”特征。

一般来说,在较长时间尺度上,气温和降水自然变化表现为较为一定的温湿配置关系,如暖期一般对应湿期,而冷期对应干期[10]。在较短尺度上,受人类活动驱动温度变化背景下,温湿配置关系更加复杂。从图6给出的1961—2019年新疆逐年温度距平与降水距平的温湿配置关系可以看出,年际之间多以暖湿和暖干配置为主,分别占到49%和24%,而冷湿和冷干配置相对较少,温度与降水变化的一致性较好。季节的温湿配置关系差异较大,其中夏秋季配置关系和年尺度较为一致,表现为暖湿和暖干配置为主,春季分别占到41%和32%,而秋季分别为36%和25%;春季配置关系较为均匀,暖湿、暖干和冷湿配置均在30%左右,冷干配置最少;冬



注:距平值计算按照1961—1990年的气候态平均值;4个象限依次为冷湿、暖湿、冷干和暖干。

图6 新疆气温距平和降水量距平的温湿配置关系分布

Fig. 6 The relationship between changes of mean surface air temperature relative to total precipitation for Xinjiang based on station data

季以暖湿配置为主，占到55%，其他温湿配置分布较为均匀。以20世纪90年代为界，发现90年代之后年及四季温湿关系均以暖湿配置为主，分别占到了86%、59%、69%、59%和76%。反映了20世纪90年代之后新疆年及各季节气候大多呈暖湿配置，尤其在夏季和冬季更加明显。

3.3.2 新疆区域现代气候暖湿化趋势的动态特征 图7a给出了新疆区域温度和降水量的逐年变化曲线，可以看出：1961—2019年新疆区域温度呈明显上升趋势，线性增温倾向率为0.30 ℃·(10a)$^{-1}$(P<0.01)，其中20世纪90年代中后期至今温度呈高位震荡变化，增温趋势似乎有所趋缓，与全球变暖特征基本相似[41]。降水量也表现为明显的增加态势，线性增加倾向率为9.6 mm·(10a)$^{-1}$(P<0.05)，其中20世纪80年代中期之前增湿较缓慢，80年代中期之后增加显著，但在21世纪以来表现出较大的年际变化，如2016年和2017年相邻两年降水量相差64.3 mm，占多年平均降水量的40%，反映了降水量的年际差异大和非线性特征。

为了进一步认识新疆区域增暖增湿趋势的动态特征，按30 a气候态变化来衡量其特征。为此，图7b与图7d给出了新疆区域5 a滑动的7个气候态时段温度、降水量和sc_PDSI指数平均值和线性倾向率变化。总体来看，7个气候态时段平均气温均呈持续的增温特征，从1961—1990年平均气温的7.6 ℃上升至1991—2009年的8.5 ℃，温度增加了0.9 ℃；从增温线性倾向率变化来看，从1961—1990年的0.16 ℃·(10a)$^{-1}$增加至1981—2010年的0.48 ℃·(10a)$^{-1}$，增温速率增加了3倍；而1986—2015年和1991—2019年增温线性倾向率下降至0.36 ℃·(10a)$^{-1}$和0.34 ℃·(10a)$^{-1}$，与1971—2000年气候态相当。气候态平均气温和增温速率对比发现，虽然1986—2015年和1991—2019年平均气温微弱增加(8.4~8.5 ℃)，但增温线性倾向率下降，反映了区域气温的停滞或减缓特征。

从降水量变化来看，7个气候态时段平均降水量呈明显的持续增加趋势，从1961—1990年平均降水量的149 mm增加至1991—2009年的178.6 mm，增加了29.6 mm，增加了20%。从增湿线性倾向率变化来看，从1961—1990年的8.7 mm·(10a)$^{-1}$增加至1976—2005年的15.6 mm·(10a)$^{-1}$，而1981—2010年气候态时段开始增湿速率有所下降，而1986—2015年气候态时段降至有记录以来最低，为3.6 mm·(10a)$^{-1}$，1991—2009年增湿速率有所回升，为7.6 mm·(10a)$^{-1}$。

从sc_PDSI指数反映的干湿变化来看，7个气候

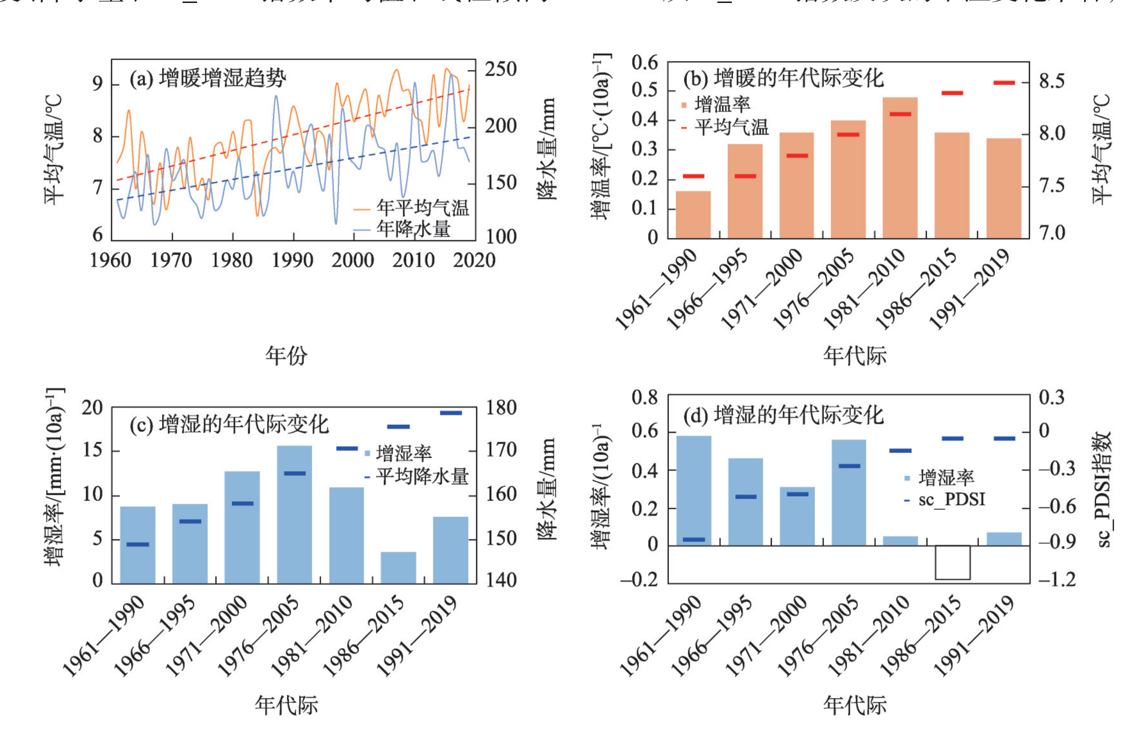


图7 基于观测的新疆气温和降水变化趋势(a)及增暖增湿的年代际变化(b~d)

Fig. 7 The time series of annual mean temperature and annual precipitation (a), and changing trends in annual mean temperature (a), annual precipitation (b) and sc_PDSI (c) in different 30-year time periods based on station data

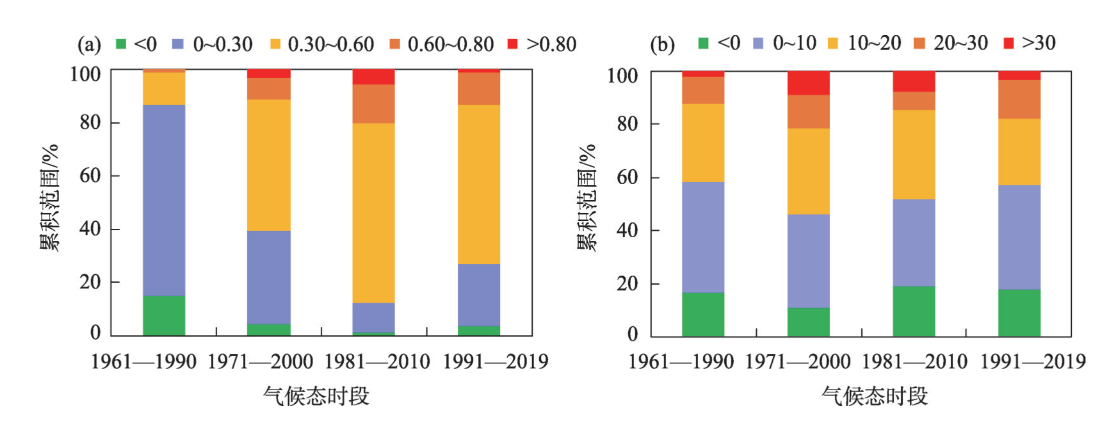
态时段平均sc_PDSI指数持续增加,而增湿线性倾向率变化看出变湿具有阶段性特征,其中1961—1990年至1976—2005年的4个气候态时段增湿特征明显,线性倾向率在0.31~0.58·$(10a)^{-1}$之间;但在1981—2010年之后的3个气候态时段增湿趋势明显下降,1981—2010年和1991—2019年气候态时段增湿速率为0.05·$(10a)^{-1}$和0.07·$(10a)^{-1}$;而1986—2015年气候态时段sc_PDSI指数逐渐减小,出现趋于变干的趋势,线性倾向率为-0.18·$(10a)^{-1}$。反映了当前增湿趋势逐渐趋缓的新特征。

气温、降水和sc_PDSI指数气候态时段对比发现,尽管7个气候态时段温度和降水量平均值均呈持续增湿增暖方向发展,但增温趋势在1986—2015年和1991—2019年较之前气候态时段有所下降,增湿趋势在1981—2005年以来的3个气候态时段有所下降,其中sc_PDSI指数在1986—2015年气候态时段出现减少趋势,反映了增温增湿趋势在当前时段的减缓趋势,也说明增温增湿趋势有一定的阶段性特征,并不是一直呈线性增加的态势。此外,气温增加绝对量和趋势依然较强,但降水量的绝对增加量并不大,且增湿趋势下降明显,说明蒸发旺盛,但降水量增加有限,新疆气候的基本特征仍将是干旱气候环境,在可预期的时间内也不可能变为湿润气候。

值得注意的是,20世纪80年代中期以来,虽然新疆年平均气温和年降水量持续增加,但增温增湿的趋势明显减缓。从气温变化来看,1998年之后增暖趋势逐渐减缓,这与全球变暖停滞(warming hiatus)相一致[42-43],反映了新疆气温对全球变暖的响应明显。相对于气温,降水量的变化更加复杂,1986—2015年增湿速率最低,但1991—2019年又有所回升,反映了增湿趋势的非线性增加特征。新疆位于中纬度西风环流控制区,20世纪60年代以来西风环流显著增强,但在80年代末至21世纪初期有减弱态势,21世纪以来持续增强,这与新疆降水变化趋势大体吻合,说明新疆的降水更多受西风环流输送的水汽控制,西风环流为新疆地区提供了基本的水汽来源[44]。

3.3.3　新疆区域气候增暖增湿趋势的分布格局　为了进一步揭示新疆区域增暖增湿的空间范围和分布格局变化,分析了不同气候态时段温度和降水线性倾向率空间分布的阶段性特征。图8a显示了新疆区域4个气候态时段(1961—1990年、1971—2000年、1981—2010年和1991—2019年)温度线性倾向率的分布范围。总体来看,新疆区域呈全区基本一致的增温特征。1961—1990年时段温度速率主要分布在0~0.30 ℃·$(10a)^{-1}$,占到71.9%的站点范围;其他3个气候态时段温度速率均主要分布在0.30~0.60 ℃·$(10a)^{-1}$,范围分别为49.4%、69.7%和59.6%。此外,温度速率大于0.6 ℃的范围分别达到1.1%、11.3%、20.2%和13.5%,说明新疆区域增暖趋势和范围在逐渐增强。

从新疆区域主要气候态时段温度速率概率的正态分布(图9a)也可以看出,除个别站点外,速率均为增温趋势,4个气候态时段依次集中在0.16 ℃·$(10a)^{-1}$、0.34 ℃·$(10a)^{-1}$、0.51 ℃·$(10a)^{-1}$、0.42 ℃·$(10a)^{-1}$。从1961—1990年至1981—2010年时段,概率曲线集中分布的峰值逐渐增加,反映增暖强度



注:图(a)为温度线性倾向率,℃·$(10a)^{-1}$;图(b)为降水线性倾向率,mm·$(10a)^{-1}$。

图8　新疆区域主要气候态时段温度和降水线性倾向率分布比例

Fig. 8　Distribution proportion of changing trends in annual mean temperature and annual precipitation in different 30-year time periods based on station data

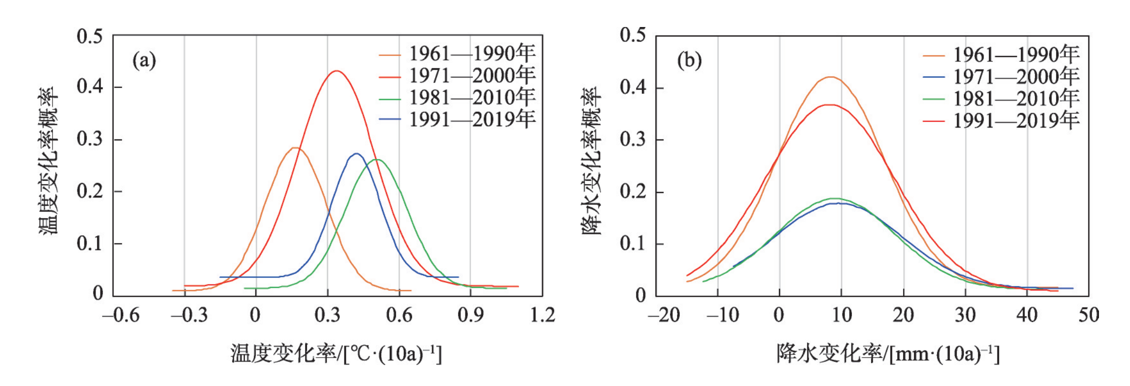


图9 新疆区域主要气候态时段温度和降水线性倾向率概率的正态分布

Fig. 9 The probability density distribution of changing trends in annual mean temperature (a) and annual precipitation (b) in different 30-year time periods based on station data

逐时段增强；1991—2019年时段增暖强度弱于1981—2010年时段而强于其他时段，与全球变暖减缓的响应有关。概率曲线分布范围上，1971—2000年时段的增暖范围大于其他时段。因此，新疆地区变暖趋势明显增强。

增湿趋势的分布格局相对复杂。4个气候态时段降水减少的范围分别为16.9%、11.2%、19.1%和18%，增湿速率在0~10 mm·(10a)$^{-1}$的范围分别为41.6%、34.8%、32.6%和39.3%，增湿在10~20 mm·(10a)$^{-1}$的范围分别为29.2%、32.6%、33.7%和24.7%(图8b)。可以看出，增湿范围主要分布在0~10 mm·(10a)$^{-1}$。虽然区域增湿特征明显，但增湿速率和累积增加量非常有限。

从增湿速率的概率分布来看，概率曲线集中分布的峰值变化不大，在8~10 mm·(10a)$^{-1}$之间，而概率曲线分布范围反映的增湿范围有逐渐减少态势，1971—2000年和1981—2010年时段范围最小，而在1991—2019年时段增湿范围趋于增强扩大(图9b)。可见，新疆区域增湿强度较为稳定，但增湿范围有波动变化，当前时段增湿的强度和范围均较为突出。降水变化趋势的空间分布表现为新疆西北部、天山山区和南疆西部持续的增湿特征，而在新疆东南部、天山南坡表现为阶段性的增湿趋势减缓或变干特征。

4 讨论与结论

基于新疆区域观测的气候水文资料，结合近年来发表的新成果，对中国新疆区域历史时期至年代际尺度"暖湿化"的变化特征进行了全面梳理和对比分析，综合评估了近30 a来新疆"暖湿化"在不同时间尺度下的地位。发现过去千年和百年新疆气候主要呈"暖干-冷湿"的水热配置特征，近百年存在显著的年代际变化特征，其中20世纪80年代以来经历了明显的"暖湿化"过程，但变幅均未超出历史各时段的变率范围。

在北半球区域视角下，1961年以来北半球中高纬度地区总体均呈暖湿化特征，其中新疆区域及以北高纬地区、欧洲北部等区域均有明显的"暖湿化"特征，并不是新疆所独有的；北半球气候"暖湿化"空间范围大致呈"T"字型，新疆连接着"暖湿化"的高纬度地区和青藏高原地区；受西风影响的新疆区域干湿变化明显区别于东亚季风气候区和地中海气候区，反映了新疆气候增湿过程在中纬度地区的独特性。

在新疆整体视角下，1961年以来新疆区域表现为较为一致的增暖增湿趋势，增暖趋势为0.30 ℃·(10a)$^{-1}$($P<0.01$)，增湿趋势为9.6 mm·(10a)$^{-1}$($P<0.05$)。7个气候态时段温度、降水量和sc_PDSI指数平均值呈持续暖湿发展，温度速率主要分布在0.30~0.60 ℃·(10a)$^{-1}$，增湿范围集中在0~10 mm·(10a)$^{-1}$；增暖增湿速率在逐气候态时段增强，但在当前时段有减缓趋势，说明增温增湿趋势有阶段性特征，并呈非线性增加态势。1961—2019年新疆区域温度、降水和sc_PDSI指数变化的一致性较好，年际温湿配置以暖湿和暖干为主，20世纪90年代之后新疆年及季节气候大多呈暖湿配置，尤其在夏季和冬季更加明显。虽然近30 a以来新疆"暖湿化"趋势明显，变暖程度逐渐增强，但降水增加绝对量并不大，当前的增湿特征并不能改变新疆的干旱气候

环境。

当然,由于新疆地区干湿变化具有明显的多时间尺度特征和空间差异性,且增湿特征因选取指标不同而存在差异,反映了干旱区气候增湿的复杂性,加上干旱区下垫面复杂,用降水量或者干湿指数很难完整的客观描述和清晰刻画。但可以断定的是,目前这种“暖湿化”是一种干旱区湿润程度的改善,并不会改变其干旱少雨的基本气候特征[45]。新疆气候“暖湿化”的影响比较广泛,涉及到极端天气气候事件、植被生态、水资源、农牧业和气候资料等方面[9,46-50],而且随着持续变暖,这些影响在逐渐增强,尤其是21世纪以来增温持续、增湿减缓的影响更需要关注。未来预估发现新疆大部分地区降水量持续增加[51],但增温依然强烈,蒸发旺盛,考虑到“双碳目标”下未来温室气体的排放情景和经济社会的发展方式等方面的情况,新疆未来气候变化趋势仍具有很大不确定性,所以气候“暖湿化”未来是否会持续扩大或趋向“暖干化”目前还无法判定。

在北半球中纬度地区,新疆降水增加最为显著,具有其独特性。关于新疆降水增加的原因可以从不同视角去探讨,但是目前也没有非常明确又令人信服的科学结论[10]。新疆降水不仅受西风环流水汽控制,高原季风环流和亚洲季风的进退对该区域的水汽输送也起重要调制作用。针对西风环流、亚洲季风以及高原季风环流三者之间的相互作用对新疆气候“暖湿化”的影响还没有明确的认识,需要未来通过加强监测和模拟来深入研究。

参考文献(References):

[1] IPCC. Summary for Policy makers of Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

[2] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219-226. [Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruji. Preliminary study on signal, impact and foreground of climatic shift from warm-dry to warm-humid in Northwest China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002, 24(3): 219-226.]

[3] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北部气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164. [Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in Northwest China[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152-164.]

[4] Chen F H, Chen J H, Huang W, et al. Westerlies Asia and monsoonal Asia: Spatiotemporal differences in climate change and possible mechanisms on decadal to sub-orbital timescales[J]. Earth Science Reviews, 2019, 192: 337-354.

[5] 王澄海, 张晟宁, 李课臣, 等. 1961—2018年西北地区降水的变化特征[J]. 大气科学, 2021, 45(4): 713-724. [Wang Chenghai, Zhang Shengning, Li Kechen, et al. Change characteristics of precipitation in Northwest China from 1961 to 2018[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2021, 45(4): 713-724.]

[6] 姚俊强, 毛炜峄, 陈静, 等. 新疆气候“湿干转折”的信号和影响探讨[J]. 地理学报, 2021,76(1): 57-72. [Yao Junqiang, Mao Weiyi, Chen Jing, et al. Signal and impact of wet-to-dry shift over Xinjiang, China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(1): 57-72.]

[7] 张强, 胡隐樵, 曹晓彦, 等. 论西北干旱气候的若干问题[J]. 中国沙漠, 2000, 20(4): 357-362. [Zhang Qiang, Hu Yinqiao, Cao Xiaoyan, et al. On some problems of arid climate system of Northwest China[J]. Journal of Desert Research, 2000, 20(4): 357-362.]

[8] 丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 77-154. [Ding Yihui, Wang Shourong. An Introduction to Climate and Ecological Environment in Northwest China[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2001: 77-154.]

[9] Yao J Q, Zhao Y, Chen Y, et al. Multi-scale assessments of droughts: A case study in Xinjiang, China[J]. Science of the Total Environment, 2018, 630: 444-452.

[10] 张强, 朱飙, 杨金虎, 等. 西北地区气候湿化趋势的新特性[J]. 科学通报, 2021, 66(28-29): 3757-3771. [Zhang Qiang, Zhu Biao, Yang Jinhu, et al. New characteristics about the climate humidification trend in Northwest China[J]. Chinese Science Bulletin, 2021, 66(28-29): 3757-3771.]

[11] Chen Yaning, Zhang Xueqi, Fang Gonghuan, et al. Potential risks and challenges of climate change in the arid region of northwestern China[J]. Regional Sustainability, 2020, 1(1): 20-30.

[12] Yao Junqiang, Mao Weiyi, Chen Jing, et al. Recent signal and impact of wet-to-dry climatic shift in Xinjiang, China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2021, 31(4): 1283-1298.

[13] 郑景云, 张学珍, 刘洋, 等. 过去千年中国不同区域干湿的多尺度变化特征评估[J]. 地理学报, 2020, 75(7): 1432-1450. [Zheng Jingyun, Zhang Xuezhen, Liu Yang, et al. The assessment on hydroclimatic changes of different regions in China at multi-scale during the past millennium[J]. Acta Geographica Sinica, 2020, 75(7): 1432-1450.]

[14] Held I M, Soden B J. Robust responses of the hydrological cycle to global warming[J]. Journal of Climate, 2006, 19: 5686-5699.

[15] Cook B, Smerdon J, Seager R,et al. Global warming and 21st century drying[J]. Climate Dynamics, 2014, 43: 2607-2627.

[16] Greve P, Orlowsky B, Mueller B, et al. Global assessment of trends in wetting and drying over land[J]. Nature Geoscience, 2014, 7(10): 716-721.

[17] Sheffield J, Wood E F, Roderick M L. Little change in global drought over the past 60 years[J]. Nature, 2012, 491(7424): 435-438.

[18] Rehfeld K, Laepple T. Warmer and wetter or warmer and dryer? Observed versus simulated covariability of Holocene temperature and rainfall in Asia[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2016, 436: 1-9.

[19] Ljungqvist F C, Seim A, Krusic P J, et al. European warm-season temperature and hydroclimate since 850 CE[J]. Environmental Research Letters, 2019, 14(8): 084015. Doi: 10. 1088/1748-9326/ab2c7e.

[20] 宋连春, 张存杰. 20世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143-148. [Song Lianchun, Zhang Cunjie. Changing features of precipitation over Nothwest China during the 20th Century[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 143-148.]

[21] Yao Junqiang, Yang Qing, Mao Weiyi, et al. Precipitation trend-elevation relationship in arid regions of the China[J]. Global and Planetary Change, 2016, 143: 1-9.

[22] 张强, 林婧婧, 刘维成, 等. 西北地区东部与西部汛期降水跷跷板变化现象及其形成机制[J]. 中国科学: 地球科学, 2019, 49(12): 2064-2078. [Zhang Qiang, Lin Jingjing, Liu Weicheng, et al. Precipitation seesaw phenomenon and its formation mechanism in the eastern and western parts of Northwest China during flood season[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2019, 49(12): 2064-2078.]

[23] Barichivich J, Osborn T J, Harris I, et al. State of the climate in 2018[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2019, 100: Si-S306.

[24] Harris I, Jones P D, Osborn T J, et al. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations-the CRU TS3. 10 Dataset[J]. International Journal of Climatology, 2014, 34(3): 623-642.

[25] 秦大河, 罗勇, 董文杰. 中国气候与环境演变: 科学基础[M]. 北京: 气象出版社, 2012: 55-58. [Qin Dahe, Luo Yong, Dong Wenjie. Climate and Environmental Evolution in China: Basic Science [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2012: 55-58.]

[26] 蒋庆丰, 沈吉, 刘兴起, 等. 2.5 ka来新疆吉力湖湖泊沉积记录的气候环境变化[J]. 湖泊科学, 2010, 22(1): 119-126. [Jiang Qingfeng, Shen Ji, Liu Xingqi, et al. Environmental changes recorded by lake sediments from Lake Jili, Xinjiang during the past 2500 years[J]. Journal of Lake Science, 2010, 22(1): 119-126.]

[27] Li Y, Qiang M, Zhang J, et al. Hydroclimatic changes over the past 900 years documented by the sediments of Tiewaike Lake, Altai Mountains, northwestern China[J]. Quaternary International, 2017, 452: 91-101.

[28] 陈发虎, 黄小忠, 张家武, 等. 新疆博斯腾湖记录的亚洲内陆干旱区小冰期湿润气候研究[J]. 中国科学: 地球科学, 2007, 37(1): 77-85. [Chen Fahu, Huang Xiaozhong, Zhang Jiawu, et al. Study on the humid climate during the Little Ice Age in arid Asia recorded in Bosten Lake, Xinjiang[J]. Scientia Sinica (Terrae), 2007, 37(1): 77-85.]

[29] Zhang T W, Yuan Y J, Liu Y, et al. A tree-ring based precipitation reconstruction for the Baluntai region on the southern slop of the central Tien Shan Mountains, China, since AD 1464[J]. Quaternary International, 2013, 283: 55-62.

[30] 张瑞波, 袁玉江, 魏文寿, 等. 天山山区树轮气候研究若干进展[J]. 沙漠与绿洲气象, 2016, 10(4): 1-9. [Zhang Ruibo,Yuan Yujiang, Wei Wenshou, et al. Research advances of dendroclimatology in Tianshan Mountains[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2016, 10(4): 1-9.]

[31] 魏文寿, 袁玉江, 喻树龙, 等. 中国天山山区235 a气候变化及降水趋势预测[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 803-808. [Wei Wenshou, Yuan Yujiang, Yu Shulong, et al. Climate change in recent 235 years and trend prediction in Tianshan Mountainous Area[J]. Journal of Desert Research, 2008, 28(5): 803-808.]

[32] Chen F, Yuan Y J, Wei W S, et al. Tree-ring recorded hydroclimatic change in Tienshan mountains during the past 500 years[J]. Quaternary International, 2015, 358: 35-41.

[33] Chen F, Yuan Y J, Wei W S, et al. Precipitation reconstruction for the southern Altay Mountains (China) from tree rings of Siberian spruce, reveals recent wetting trend[J]. Dendrochronologia, 2014, 32: 266-272.

[34] Chen F, Yuan Y J, Zhang T W, et al. Precipitation reconstruction for the northwestern Chinese Altay since 1760 indicates the drought signals of the northern part of inner Asia[J]. International Journal of Biometeorology, 2016, 60: 455-463.

[35] 陈峰, 袁玉江, 张同文, 等. 树轮记录的阿尔泰山北部PDSI指数变化及其对额尔齐斯河径流变化影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 93-98. [Chen Feng, Yuan Yujiang, Zhang Tongwen, et al. Long-term drought severity variations in the northern Altay Mountains and its linkages to the Irtysh River streamflow variability[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(8): 93-98.]

[36] 张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等. 用树木年轮重建阿勒泰西部5—9月365年来的月平均气温序列[J]. 干旱区研究, 2008, 25(2): 288-294. [Zhang Tongwen, Yuan Yujiang, Yu Shulong, et al. The 365 year of mean May-September temperature reconstructed with tree-ring data in weat Altay, Xinjiang of China[J]. Arid Zone Reaearch, 2008, 25(2): 288-294.]

[37] 尚华明, 魏文寿, 袁玉江, 等. 树木年轮记录的阿勒泰436 a来6月温度变化[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 116-121. [Shang Huaming, Wei Wenshou, Yuan Yujiang, et al. The mean June temperature history of 436 a in Altay reconstructed from tree ring[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(8): 116-121.]

[38] 胡义成, 袁玉江, 魏文寿, 等. 用树木年轮重建阿勒泰东部6—7月平均温度序列[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1003-1009. [Hu Yicheng, Yuan Yujiang, Wei Wenshou, et al. Tree-ring reconstruction of mean June-July temperature during 1613-2006 in East Al-

tay, Xinjiang of China[J]. Journal of Desert Research, 2012, 32(4): 1003-1009.]

[39] Zhang T W, Yuan Y J, Hu Y C, et al. Early summer temperature changes in the southern Altai Mountains of central Asia during the past 300 years[J]. Quaternary International, 2015, 358: 68-76.

[40] 崔宇, 胡列群, 袁玉江, 等. 树轮记录的过去359 a阿勒泰地区初夏气温变化[J]. 沙漠与绿洲气象, 2015, 9(5): 22-28. [Cui Yu, Hu Liequn, Yuan Yujiang, et al. Early summer temperature change in Altay over the past 359 years recorded by tree rings[J]. Desert and Oasis Meteorology, 2015, 9(5): 22-28.]

[41] 苏京志, 温敏, 丁一汇, 等. 全球变暖趋缓研究进展[J]. 大气科学, 2016, 40(6): 1143-1153. [Su Jingzhi, Wen Min, Ding Yihui, et al. Hiatus of global warming: A review[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2016, 40(6): 1143-1153.]

[42] Fyfe J C, Gillett N P. Zwiers F W. Overestimated global warming over the past 20 years[J]. Nature Climate Change, 2013, 3: 767-769.

[43] Trenberth K E, Fasullo J T, Branstator G, et al. Seasonal aspects of the recent pause in surface warming[J]. Nature Climate Change, 2014, 4: 911-916.

[44] 王可丽, 江灏, 赵红岩. 西风带与季风对中国西北地区的水汽输送[J]. 水科学进展, 2005, 16(3): 432-438. [Wang Keli, Jiang Hao, Zhao Hongyan. Atmospheric water vapor transport from westerly and monsoon over the Northwest China[J]. Advance Water Science, 2005, 16(3): 432-438.]

[45] 王澄海,张晟宁,张飞民,等. 论全球变暖背景下中国西北地区降水增加问题[J]. 地球科学进展,2021,36(9): 980-989. [Wang Chenghai, Zhang Shengning, Zhang Feimin, et al. On the increase of precipitation in the northwestern China under the global warming[J]. Advances in Earth Science,2021,36(9): 980-989.]

[46] Zhang Q, Yang J H, Wang W, et al. Climatic warming and humidification in the arid region of Northwest China: Multi-scale characteristics and impacts on ecological vegetation[J]. Journal of Meteorology Research, 2021, 35(1): 113-127.

[47] 张强, 张存杰, 白虎志. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响[J]. 干旱气象, 2010, 28(1): 1-7. [Zhang Qiang, Zhang Cunjie, Bai Huzhi. New development of climate change in Northwest China and its impact on arid environment[J]. Arid Meteorology, 2010, 28(1): 1-7.]

[48] 卢宝宝, 孙慧兰, 姜泉泉, 等. 近53 a新疆水分盈亏量时空变化特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(6): 1579-1589. [Lu Baobao, Sun Huilan, Jiang Quanquan, et al. Spatiotemporal variation characteristics of the water budget in Xinjiang during the latest 53 years[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(6): 1579-1589.]

[49] 刘璐, 刘普幸, 张旺雄, 等. 1961—2017年新疆极端暖事件变化特征及其未来情景预估[J]. 干旱区研究, 2021, 38(6): 1590-1600. [Liu Lu, Liu Puxing, Zhang Wangxiong, et al. Variation characteristics of extreme warm events from 1961 to 2017 and projection for future scenarios in Xinjiang, China[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(6): 1590-1600.]

[50] 张太西, 樊静, 李元鹏, 等. 1961—2018年新疆区域高温变化与环流和海温关系[J]. 干旱区研究, 2021, 38(5): 1274-1284. [Zhang Taixi, Fan Jing, Li Yuanpeng, et al. Heatwave changes and the potential causes in Xinjiang from 1961 to 2018[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(5): 1274-1284.]

[51] Guan Jingyun, Yao Junqiang, Li Moyan, et al. Historical changes and projected trends of extreme climate events in Xinjiang, China [J]. Climate Dynamics, 2022. Doi: 10. 1007/s00382-021-06067-2.

The assessment on “warming-wetting” trend in Xinjiang at multi-scale during 1961−2019

YAO Junqiang[1], LI Moyan[2], Dilinuer Tuoliewubieke[1], CHEN Jing[1], MAO Weiyi[1]

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Tree-Ring Physical and Chemical Research, China Meteorological Administration, Xinjiang Key Laboratory of Tree-Ring Ecology, Urumqi 830002, Xinjiang, China; 2. College of Resources & Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China)

Abstract: Based on the observed climatic and hydrological data in Xinjiang, China, and combined with the new results in recent years, the characteristics of “warming-wetting” trend in Xinjiang region from historical period to interdecadal scale were comprehensively analyzed and compared, and the evolution characteristics of “warming-wetting” trend in Xinjiang region were comprehensively evaluated at different spatial and temporal scales. The results show that: (1) according to the lake sediment and tree-ring reconstruction and wet climate change sequence, found the past climate in Xinjiang in one thousand and one hundred, scale is mainly a “dry-cold and warm-wet”, there is significant decadal variation characteristics, nearly a century of experience since 1980s the obvious “wet” process, but range is not beyond history the variability of each period. (2) the warming and wetting trend was occurred in the northern area, high latitudes in the northern hemisphere since 1961, the pattern is roughly the “T” type, Xinjiang is connected in high latitudes and link of the “wet” Qinghai-Tibet plateau region, the “warming-wetting” trend is not unique to Xinjiang, However, the climate humidification process in Xinjiang is unique in the middle latitude region. (3) The interannual temperature and humidity was dominated by “warm-wet-warm-dry” configuration in Xinjiang during 1961−2019. After the 1990s, the annual and seasonal temperature and humidity configurations were mostly warm and wet in Xinjiang. The rate of warming and humidification increases in each climate state period, but slows down in the current period, indicating that the warming and humidification trend has periodic characteristics and presents a nonlinear increase trend. Although there has been an obvious trend of “warming-wetting” trend in Xinjiang in the past 30 years, and the degree of warming has gradually increased, the absolute amount of precipitation increase is not large, and the current characteristics of humidification can not change the arid climate and arid area in Xinjiang. The research results provide an important scientific basis for the assessment of climate and “warming-wetting” trend in Xinjiang at different spatio-temporal scales.

Keywords: dry-wet change; warming-wetting trend; warm-wet configuration; multi-scale pattern; Xinjiang